



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09046735 A**(43) Date of publication of application: **14.02.97**

(51) Int. Cl. **H04Q 3/52**  
**H04B 10/02**  
**H04J 14/00**  
**H04J 14/02**

(21) Application number: **07192912**(71) Applicant: **OKI ELECTRIC IND CO LTD**(22) Date of filing: **28.07.95**(72) Inventor: **HASEGAWA MIKIO**

(54) **OPTICAL CROSS-CONNECT METHOD AND  
 OPTICAL CROSS-CONNECT DEVICE USING  
 SAME**

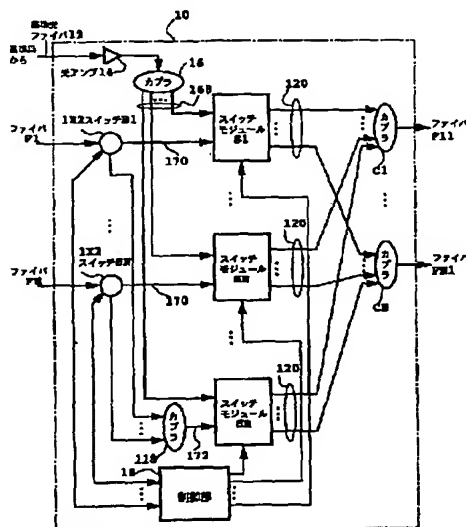
frequency with the absolute reference light as a reference, uses the reproduced pulse waveform and modulates and outputs generated light.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical cross-connect device for not propagating the abnormality or the like of reference light generated in a part of the optical cross-connect device to the other optical cross-connect device inside an optical communication network.

**SOLUTION:** An optical amplifier 14 receives absolute reference light provided with a reference frequency inside the optical communication network from a reference station. On the other hand, 1×2 switches B1-BN receive input light including the plural optical signals of mutually different frequencies through optical fibers F1-FN and send it to either active system switch modules S1-SN or standby system switch module SR corresponding to the instruction of a control part 18. An OR/OS part inside the switch modules S1-SN and SR receives the input light and separates it into the respective optical signals of the different frequencies. Further, the OR/OS part reproduces pulse waveforms included in the separated optical signals. Thereafter, the OR/OS part generates the light of a prescribed



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-46735

(43) 公開日 平成9年(1997)2月14日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 Q 3/52		9566-5G	H 0 4 Q 3/52	B
		9566-5G		C
H 0 4 B 10/02			H 0 4 B 9/00	T
H 0 4 J 14/00				E
14/02				

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平7-192912

(22) 出願日 平成7年(1995)7月28日

(71) 出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72) 発明者 長谷川 幹夫

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気

工業株式会社内

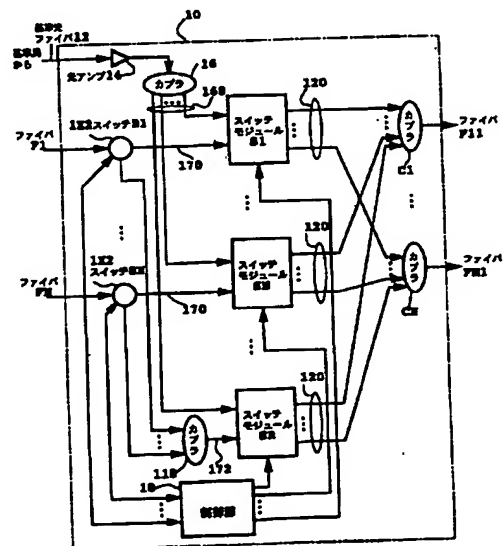
(74) 代理人 弁理士 香取 幸雄

(54) 【発明の名称】 光クロスコネクタ方法および該方法を用いた光クロスコネクタ装置

(57) 【要約】

【課題】 一部の光クロスコネクタ装置において生じた基準光の異常等が光通信網内の他の光クロスコネクタ装置に伝搬することのない光クロスコネクタ装置を提供する。

【解決手段】 光アンプ14は、光通信網内における基準周波数を有する絶対基準光を基準局から受信する。一方、1×2スイッチB1～BNは、互いに周波数が異なる複数の光信号を含む入力光を光ファイバF1～FNを通して受け付けて、制御部18の指示にしたがって、現用系スイッチモジュールS1～SNもしくは予備系スイッチモジュールSRのいずれかに送る。スイッチモジュールS1～SN、SR内のOR/OS部は、入力光を受け付けて、異なる周波数の光信号ごとに分離する。さらに、OR/OS部は、分離された光信号に含まれるパルス波形を再生する。その後、OR/OS部は、絶対基準光を基準として所定の周波数の光を生成し、再生されたパルス波形を用いて、生成された光を変調して、出力する。



予備系を備えた光クロスコネクタ装置

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光通信網内のノードとノードとの間に設定されるパスの設定状態を変更する光クロスコネクタ装置において、該装置は、

前記光通信網内に設けられた、該光通信網内における基準周波数を有する絶対基準光を出力する基準局から該絶対基準光を受信する基準光受信手段と、

互いに周波数が異なる複数の光信号を含む入力光を受け付けて、該光信号の送信先を切り替えることができるスイッチ手段とを有し、

該スイッチ手段は、

前記入力光を受け付けて、異なる周波数の光信号ごとに分離する分離手段と、

該分離された光信号に含まれるパルス波形を再生する再生手段と、

前記受信した絶対基準光を基準としてあらかじめ定められた周波数の光を生成し、前記再生されたパルス波形を用いて、該生成された光を変調し、該変調により得られた光信号を出力する送信手段とを有することを特徴とする光クロスコネクタ装置。

【請求項2】 光通信網内のノードとノードとの間に設定されるパスの設定状態を変更する光クロスコネクタ装置において、該装置は、

前記光通信網内に設けられた、該光通信網内における基準周波数を有する絶対基準光を出力する基準局から該絶対基準光を受信する基準光受信手段と、

互いに周波数が異なる複数の光信号を含む入力光を受け付けて、該光信号の送信先を切り替えることができるスイッチ手段とを有し、

該スイッチ手段は、

互いに周波数が異なる複数の光信号を含む入力光を受け付けて、異なる周波数の光信号ごとに分離する分離手段と、

前記受信した絶対基準光を用いて、前記分離した光信号の周波数を変換し、変換後の光信号を出力する送信手段とを有することを特徴とする光クロスコネクタ装置。

【請求項3】 請求項1または2に記載の光クロスコネクタ装置において、

前記入力光は複数あり、

該光クロスコネクタ装置は、

前記入力光ごとに設けられた前記スイッチ手段であって、現用系である現用系スイッチ手段と、

前記複数の入力光に対して設けられた前記スイッチ手段であって、予備系である予備系スイッチ手段と、

前記入力光ごとに設けられた現用予備切替スイッチであって、各々は前記入力光を受け付けて、該入力光を前記現用系スイッチ手段または予備系スイッチ手段のいずれかに出力する現用予備切替スイッチと、

該現用予備切替スイッチの出力先を制御する制御部と、

前記現用予備切替スイッチと前記予備系スイッチ手段と

の間に設けられ、前記複数の現用予備切替スイッチから予備系スイッチ手段に向けて出力される入力光を受け付けて、前記予備系スイッチ手段に出力する光合流手段とを有することを特徴とする光クロスコネクタ装置。

【請求項4】 光通信網内のノードとノードとの間に設定されるパスの設定状態を変更する光クロスコネクタ方法において、該方法は、

前記光通信網内に設けられた基準局から直接、前記光通信網における基準周波数を有する絶対基準光を光クロスコネクタ装置に出力し、

該光クロスコネクタ装置は、

互いに周波数が異なる複数の光信号を含む入力光を受け付けて、異なる周波数の光信号ごとに分離し、

該分離された光信号に含まれるパルス波形を再生し、

前記受信した絶対基準光を基準としてあらかじめ定められた周波数の光を生成し、

前記再生されたパルス波形を用いて、該生成された光を変調し、

該変調により得られた光信号を出力することを特徴とする光クロスコネクタ方法。

【請求項5】 光通信網内のノードとノードとの間に設定されるパスの設定状態を変更する光クロスコネクタ方法において、該方法は、

前記光通信網内に設けられた基準局から直接、前記光通信網における基準周波数を有する絶対基準光を光クロスコネクタ装置に出力し、

該光クロスコネクタ装置は、

互いに周波数が異なる複数の光信号を含む入力光を受け付けて、異なる周波数の光信号ごとに分離し、

前記受信した絶対基準光を用いて、前記分離した光信号の周波数を変換し、

変換後の光信号を出力することを特徴とする光クロスコネクタ方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信網において用いられる光クロスコネクタ方法および該方法を用いた光クロスコネクタ装置に関し、特に、特定の周波数を有する光信号を生成する方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来から、光通信網用の複数伝送路間において、パスの集束、分離、詰替えを行なう光クロスコネクタ装置が提案されている。また、光信号の多重方法として、1本の光ファイバの中に、周波数帯域が異なる複数の光を伝搬させて多重化する技術があり、数個の異なる周波数帯域の光が多重化されている光波長分割多重(WDM)と、これよりも周波数帯域の数をはるかに多くした、多数(数百または数千)の異なる周波数帯域の光が多重化されている光周波数分割多重(FDM)とがある。

【0003】WDM または FDM を用いた光クロスコネクタ

装置において、この装置が収容する光ファイバ数を通信需要の増大等に応じて拡張する際に光ファイバ数を容易に拡張できるものが提案されている。このようなものとして例えば、「拡張性に優れたオプティカルパス・クロスコネクシステム」(1994年電子情報通信学会春季大会B-839)に記載されている光クロスコネク装置がある。

【0004】この光クロスコネク装置は、 $2 \times N$ 本の光ファイバ(1つの伝送路について入側ファイバと出側ファイバが各1本ずつあり、計2本で1組とし、 $N$ 本の伝送路、すなわち $N$ 組の光ファイバがあるとすると)を収容し、光ファイバの各々には $M$ 個の異なる波長の光信号が多重されている。そして、各組ごとに1つ、合計 $N$ 個のスイッチモジュールを設けている。

【0005】以下では、 $N$ 本の伝送路により、 $N$ 個のノードと光クロスコネク装置とが接続されており、各伝送路は前記一組(2本)の光ファイバからなり、2本の光ファイバにより双方向通信を行なうものとする。

【0006】 $N$ 個のスイッチモジュールは、同一の機能および構成を有するものである。各スイッチモジュールの入側(分波回路)には、1本の入側光ファイバが接続され、出側は前記の $N$ 個のノード $N_1, N_2, \dots, N_N$ に対応して $N$ 個のポートに分岐している。これらのポートは光ファイバにより、 $N$ 個のカブラに接続されている。 $N$ 個のカブラは、 $N$ 個のスイッチモジュールからの合計 $N \times N$ 本の光ファイバを行き先ごとに合流させるためのものであり、合流させた光信号を前記の出側光ファイバに出力する。

【0007】各スイッチモジュールは、入側ファイバから入力された入力光に含まれる $M$ 個の光信号を、光クロスコネク装置内の制御部からの経路指定にしたがって、 $N$ 個のノードのいずれかに振り分ける機能を有する。そのために、1つのスイッチモジュールは、1個の分波回路と、分波回路の後段に設けられた $M$ 個のOR/OS部(光受信/光送信部)と、OR/OS部の後段に設けられた1個の $M \times N$ スイッチ部とからなる。

【0008】スイッチモジュールに入力された光(以下では入力光と呼ぶ)は、前記の分波回路により $M$ 個の光信号(これらは、互いに異なる波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M$ を有する)に分波される。分波された光信号は、光信号毎に設けられたOR/OS部により一旦、電気信号に変換され、波形が再生された後、再び光信号に変換される。そして $M \times N$ スイッチ部において各光信号毎に指定されているノードに送信されるように、経路変更が行なわれる。

【0009】光クロスコネク装置全体で $N$ 個あるカブラは、前記の $N$ 個のノード $N_1, N_2, \dots, N_N$ に対応しており、例えば、ノード $N_1$ に対応するカブラには、 $N$ 個の $M \times N$ スイッチ部からノード $N_1$ 宛ての光信号が送られてくる。カブラは送られてきた光信号を合流して、出側の光

ファイバに出力する。

【0010】光クロスコネク装置のスイッチモジュール内の個々のOR/OS部は、所定の受信周波数(=送信周波数)の光のみを受信し、その周波数の光のみをレーザ光源を用いて生成して出力する必要があるため、光通信網内で決められている特定の周波数の光(これを基準光とよぶ)を、光を生成する際の周波数の基準として用いている。すなわち基準光の周波数と所定の周波数差を有する光信号を生成するようにレーザ光源を制御する。

【0011】なお、この光クロスコネク装置は、光ファイバが最大 $N$ 個まで拡張できるように設計されているものである。上記では、光ファイバが $N$ 個、収容されているとして説明した。 $K$ 個( $K < N$ )の光ファイバが収容されているときは、 $K$ 個のスイッチモジュールを光クロスコネク装置に実装する。このときは、 $M \times N$ スイッチ部は、 $M \times K$ スイッチとして機能し、カブラには $K$ 個の $M \times N$ スイッチ部から光信号が送られてくる。

【0012】光ファイバを追加する必要が生じたときは、追加する光ファイバの組と同数の上記スイッチモジュールおよびカブラを追加する。そして、追加された $M \times N$ スイッチ部の出力側と追加されたカブラの入力側との間、設置済の $M \times N$ スイッチ部の出力側と追加されたカブラの入力側との間、および追加された $M \times N$ スイッチ部の出力側と設置済のカブラの入力側との間において接続を行なえばよい。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】光通信網内に複数ある光クロスコネク装置の接続関係は、階層構造をしている。従来、前記基準光はこの階層構造にしたがって、上位の階層に含まれる光クロスコネク装置から、階層の順序にしたがって順次、下位の階層に含まれる光クロスコネク装置に送られる。また、同一階層に含まれる複数の光クロスコネク装置間においては、基準光が1つの光クロスコネク装置から、1つ以上の光クロスコネク装置を経由して他の光クロスコネク装置に送られることもある。

【0014】基準光が1つの光クロスコネク装置から他の光クロスコネク装置に送られるとき、基準光を送信する光クロスコネク装置を「上流の光クロスコネク装置」と以下では呼び、上流の光クロスコネク装置から基準光を受信する光クロスコネク装置を以下では「下流の光クロスコネク装置」と呼ぶ。

【0015】このように従来は、下流の光クロスコネク装置では、上流の光クロスコネク装置から受信した基準光に基づき、OR/OS部において他の光クロスコネク装置等に送信すべき光信号を生成している。このため、上流の光クロスコネク装置において基準光に異常もしくは変化が生じると、下流にあるすべての光クロスコネク装置にその異常もしくは変化が伝搬する可能性がある。

【0016】このような基準光の異常もしくは変化としては、基準光が途絶すること、基準光の周波数がずれること等がある。その結果、下流の光クロスコネクタ装置において、受信した基準光に基づいて生成される光信号の周波数にずれ等が生じることになる。

【0017】このように1つの光クロスコネクタ装置における基準光の異常等が、光通信網全体の光信号に影響する可能性がある。光信号の周波数のずれは、光信号における雑音を増加させたり、光信号に含まれるデータにエラーを生じさせる可能性がある。

【0018】なお、上流の光クロスコネクタ装置において基準光の周波数にずれが生じる原因としては、例えば、以下のようなものがある。基準光を受信した上流の光クロスコネクタ装置は、カブラにより基準光を2つに分岐する。分岐した基準光のうちの一方は、この光クロスコネクタ装置内のOR/OS 部において前述のように受信および送信のために用いられ、他の一方は、下流の光クロスコネクタ装置に送られる。

【0019】下流の光クロスコネクタ装置に送る際は、減衰したパワーを補うために上流の光クロスコネクタ装置内にある光アンプ（光増幅器）により増幅されてから下流の光クロスコネクタ装置に送られる。光アンプの増幅率の周波数特性はすべての周波数に対して同一ではないため、増幅される際に基準光の周波数特性は変化する。このように光クロスコネクタ装置を基準光が通過するたびに基準光の周波数特性は少しずつ変化し、その変化が蓄積されて、基準光の周波数のずれが大きくなる。

【0020】ところで、従来の光クロスコネクタ装置においては、光クロスコネクタ装置に障害が生じたときに、光クロスコネクタ装置が複数のモジュールから構成されているときは、障害が生じたモジュールを交換するか、障害の生じた部品を交換するか、いずれかによって障害回復を行なっている。

【0021】これらの交換作業は時間がかかるため、障害回復に時間がかかるという問題があった。光クロスコネクタ装置に障害が生じていない場合でも、モジュールの点検などを行なうために、モジュールを交換すると、そのモジュールが処理を担当している通信回線については、モジュールの交換が終わるまで通信が途絶するという問題があった。

【0022】本発明の第1の目的は、このような従来技術の欠点を解消し、一部の光クロスコネクタ装置において生じた基準光の異常等が光通信網内の他の光クロスコネクタ装置に伝搬することのない光クロスコネクタ装置を提供することを目的とする。

【0023】本発明の第2の目的は、上記の従来技術の欠点を解消し、光クロスコネクタ装置に異常が生じたときまたは光クロスコネクタ装置を点検するときに、通信が長時間途絶することのない光クロスコネクタ装置を提供することを目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】本発明は上述の第1の課題を解決するために、光通信網内のノードとノードとの間に設定されるパスの設定状態を変更する光クロスコネクタ装置において、光通信網内に設けられた、この光通信網内における基準周波数を有する絶対基準光を出力する基準局からこの絶対基準光を受信する基準光受信手段と、互いに周波数が異なる複数の光信号を含む入力光を受け付けて、この光信号の送信先を切り替えることができるスイッチ手段とを有し、このスイッチ手段は、入力光を受け付けて、異なる周波数の光信号ごとに分離する分離手段と、この分離された光信号に含まれるパルス波形を再生する再生手段と、受信した絶対基準光を基準としてあらかじめ定められた周波数の光を生成し、再生されたパルス波形を用いて、この生成された光を変調し、この変調により得られた光信号を出力する送信手段とを有することとしたものである。

【0025】また、第2の課題を解決するために、上記光クロスコネクタ装置において、入力光が複数ある場合に、入力光ごとに設けられたスイッチ手段であって、現用系である現用系スイッチ手段と、複数の入力光に対して設けられたスイッチ手段出あって、予備系である予備系スイッチ手段と、入力光ごとに設けられた現用予備切替スイッチであって、各々は入力光を受け付けて、この入力光を現用系スイッチ手段または予備系スイッチ手段のいずれかに出力する現用予備切替スイッチと、この現用予備切替スイッチの出力先を制御する制御部と、現用予備切替スイッチと予備系スイッチ手段との間に設けられ、複数の現用予備切替スイッチから予備系スイッチ手段に向けて出力される入力光を受け付けて、前記予備系スイッチ手段に出力する光合流手段とを有することとしたものである。

【0026】

【発明の実施の形態】次に添付図面を参照して本発明による光クロスコネクタ装置の実施例を詳細に説明する。

【0027】図1は、本発明の第1の実施例に係る光クロスコネクタ装置10のブロック図である。同図に示す光クロスコネクタ装置10は、FDM を用いた光クロスコネクタ装置10である。

【0028】最初に、本装置10の構成のうち、基準光（波長 $\lambda_0$ ）を処理するための部分について述べる。本装置10は、光通信網内に設けられた、光通信網内における基準光を出力する基準局（図示しない）から基準光を、基準光ファイバ12を通して直接、受信する。基準光は、主信号を伝送する光信号の周波数の基準となる絶対基準周波数（ $\nu_0$ ）を有する。以下では、絶対基準周波数を有する基準光を絶対基準光と呼ぶ。ここで主信号とは、光通信網内における伝送対象である音声情報、画像情報、もしくはデータであり、主信号を伝送する光信号は、主信号により変調されている。基準光ファイバ12

は、光通信網内において絶対基準光を伝送するために、基準局と、網内の光クロスコネクタ装置との間に設置されているものである。

【0029】基準局は光通信網内に1つもしくは複数設けられ、光クロスコネクタ装置10内の後述するスイッチモジュールS1～SN,SR が光信号を受信および送信する際に必要な絶対基準光を基準局は直接、光クロスコネクタ装置10に送る。

【0030】基準局を複数設ける場合は、これらの基準局の間で絶対基準光の周波数を一致させるために、網同期における従属同期方式と同様な考えに基づく方式を採用することができる。すなわち、複数の基準局の間にマスタ局—スレーブ局の関係を持たせてもよい。スレーブ局は、マスタ局から絶対基準光を受け付けて、自局が光クロスコネクタ装置に向けて出力する絶対基準光の周波数と、マスタ局からの絶対基準光の周波数とのずれを常時モニタして、ずれが所定範囲内に収まるように、自局が出力する絶対基準光の周波数を制御する。周波数のモニタ方法および制御方法については例えば、後述するスイッチモジュールにおいて用いられる方法を用いてもよい。

【0031】なお、網同期における独立同期方式と同様な考えに基づく方式を採用することもできる。すなわち、各基準局は、周波数安定度の高い絶対基準光発生手段を用いてもよい。このような発生手段は、例えば、絶対基準光を発生する波長可変レーザダイオードと、発生したレーザ光のうち特定の周波数の光（絶対基準光）のみを吸収させるためのガスを封入したガスセルと、ガスセルを通過したレーザ光を受光するフォトダイオードと、フォトダイオードの出力に基づいて波長可変レーザダイオードの出力光の波長（周波数）を所定の周波数に制御する制御部とから構成することができる。ガスの吸収線の周波数は安定度が高いからである。

【0032】なお、レーザダイオードからは、その光共振器を構成する2つの端面のうち、一方の端面から光クロスコネクタ装置に送信する絶対基準光を取り出し、他方の端面からガスセルに送る絶対基準光を取り出すこととすればよい。

【0033】光クロスコネクタ装置10は、基準局から受信した絶対基準光の減衰を補償するために、絶対基準光を光増幅して出力する光アンプ14を有する。光アンプ14は絶対基準光の受信手段でもある。光アンプ14としては、例えば、エルビウムドープ光ファイバ増幅器を用いることができる。エルビウムドープ光ファイバ増幅器は、例えば、励起用光源である半導体レーザと、このレーザの出力する励起光と絶対基準光とを合波するカブラ（誘電体多層膜等）と、合波された光が入力されて通過する間に絶対基準光の増幅が行なわれるエルビウムドープ光ファイバと、半導体レーザの光出力の強度の制御を行なう回路と、半導体レーザの出力する励起光の周波数

を一定に保持するために半導体レーザの温度を制御する回路とを有する。

【0034】このようにして増幅された絶対基準光はカブラ16により、スイッチモジュールの数分（ $N+1$ ）に分岐され、分岐された絶対基準光168は、各スイッチモジュールS1～SN,SR に送られる。カブラ16は、1本の光ファイバからの絶対基準光を分岐して（ $N+1$ ）本の光ファイバに分配するものであり、方向性結合器型、スターカブラ型のいずれでもよい。カブラは、他の分類方法として構成要素で分類することができる。これによると、光ファイバ型、バルク型、厚膜導波路型があるが、本発明のカブラ16はこれらのいずれでもよい。また、カブラは動作原理で分類すると、集中結合型および分布結合型があるが、本発明のカブラ16はこれらのいずれでもよい。

【0035】スイッチモジュールS1～SN,SR は、互いに周波数が異なる複数の光信号（波長は $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M$ 、周波数は $V_1, V_2, \dots, V_M$ とする）が多重化されている入力光を受け付けて、該光信号の送信先を切り替える。絶対基準光は、この処理のために用いられるものであり、詳細は後述する。

【0036】なお、本発明は、絶対基準光および光信号（波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M$ ）の波長帯、絶対基準光の周波数と光信号の周波数との関係、複数の光信号の周波数間との関係について、特に制限はない。例えば、絶対基準光および光信号の波長としては、 $1.3 \sim 1.55 \mu\text{m}$ の波長帯から選択することができる。絶対基準光の周波数と光信号の周波数との関係、および複数の光信号の周波数間との関係については、絶対基準光の周波数から、例えば等間隔に（一例として、5GHzもしくは10GHz程度）、 $M$ 個の光を選択することができる。

【0037】次に、本装置10の構成のうち、主信号を伝送する光信号を処理する部分について説明する。本実施例においては、本装置10に接続されている伝送路の各々は、本装置10へ光を入力する入側ファイバと、本装置10からの光を受け付ける出側ファイバとを各1本ずつ有する。この2本の光ファイバを以下では1組の光ファイバと呼ぶ。なお、1つの伝送路が複数本の入側ファイバと複数本の出側ファイバとを有してもよい。

【0038】図1の光クロスコネクタ装置が拡張できる光ファイバの最大組数、すなわち、収容できる伝送路の最大数は $N$ であり、図1においては $N$ 組の光ファイバ（ $F_1, F_{11}$ ）,（ $F_2, F_{21}$ ）, ..., （ $F_N, F_{N1}$ ）が、すなわち拡張可能な限度数の光ファイバがすでに接続されている。 $N$ 組の光ファイバ（ $F_1, F_{11}$ ）,（ $F_2, F_{21}$ ）, ..., （ $F_N, F_{N1}$ ）のうち、光ファイバ $F_1, F_2, \dots, F_N$ が入側光ファイバであり、光ファイバ $F_{11}, F_{21}, \dots, F_{N1}$ が出側光ファイバである。

【0039】本装置10に接続されている $2N$ 本の光ファイバ $F_1, F_2, \dots, F_N, F_{11}, F_{21}, \dots, F_{N1}$ の各々には $M$ 個の異なる波長の光信号が多重されている。また、 $M$ 個の異なる光

信号の経路変更を行なうスイッチモジュールS1～SNを、各光ファイバの組ごとに1つ、合計N個設けている。

【0040】各スイッチモジュールS1～SNは、すべて同じ構成である。1つのスイッチモジュールSの出力端子120は、N個の出力端子からなる。N個の出力端子は、N個のカブラC1～CNにそれぞれ接続されている。いずれのスイッチモジュールSについても、出力端子とカブラCとの対応は同じである。すなわち、1番目のスイッチモジュールS1の3番目の出力端子と5番目のスイッチモジュールS5の3番目の出力端子とは、ともに3番目のカブラC3に接続している。

【0041】このようにして、N個のスイッチモジュールS1～SNからでている合計N×N本の光ファイバのうち、同一の出側ファイバF11～FN1に対応しているもの(N本ある)を1本の出側光ファイバにまとめるためにN個のカブラC1～CNを設けている。N個あるカブラC1～CNは、N本の出側ファイバF11～FN1に対応している。例えば、出側ファイバF11に対応するカブラC1には、N個のスイッチモジュールS1～SN内にある後述するM×Nスイッチ部S1～SNから出側ファイバF11宛ての光信号が送られてくる。カブラC1～CNは、送られてきた光信号を合流して、出側光ファイバに出力する。

【0042】カブラC1～CNは、N本の光ファイバからの光信号を合流して1本の光ファイバに出力するものであり、方向性結合器型、スターカブラ型のいずれでもよい。カブラには、光ファイバ型、バルク型、厚膜導波路型があるが、本発明のカブラC1～CNはこれらのいずれでもよい。また、カブラには、集中結合型および分布結合型があるが、本発明のカブラC1～CNはこれらのいずれでもよい。

【0043】さらに、本装置10は、スイッチモジュールS1～SNに加えて、これらのN個のスイッチモジュールのいずれかが故障したとき、またはいずれかを点検するときに、そのスイッチモジュールの代替として機能する予備のスイッチモジュールSRを有する。スイッチモジュールS1～SNを以下では現用系スイッチモジュールと呼び、スイッチモジュールSRを予備系スイッチモジュールと呼ぶ。図1において、現用系と予備系とを合わせると、スイッチモジュールS1～SN,SRは全部でN+1個あるが、これらのうち同時にはN個のスイッチモジュールのみが動作している。

【0044】ファイバF1,F2,...,FNを通して入力された光(入力光)を、現用系スイッチモジュールS1～SN、もしくは予備系スイッチモジュールSRのいずれかに振り分けるために、1×2スイッチB1～BNが設けられている。

【0045】入力光は、制御部18の制御のもとに1×2スイッチB1～BNによって現用系スイッチモジュールS1～SN、もしくは予備系スイッチモジュールSRのいずれかに振り分けられる。1×2スイッチB1～BNの各々は、1つの入力端子と2つの出力端子とを有し、その入力端子か

ら入力された入力光を、2つある出力端子のどちらか片方のみ出力する。予備系モジュールSRは、N個の現用系スイッチモジュールS1～SNのうち、いずれか1つの代替として動作するため、N個の1×2スイッチB1～BNのうち、予備系モジュールSRによって代替されている現用系スイッチモジュールに対応する1×2スイッチBのみが、その入力端子から入力された入力光を予備系スイッチモジュールに送る動作を行なう。

【0046】1×2スイッチB1～BN(および後述するスイッチモジュールS1～SN,SR内のM×Nスイッチ20)は、光信号を光のまま、ある光ファイバから他の光ファイバへ選択的に接続する光スイッチである。光スイッチとしては、光の干渉効果を用いたマッハツェンダ型やバランブリッジ型、光の界分布の変化を利用したY分岐型や非対称X分岐型等があり、いずれを用いてもよい。

【0047】1×2スイッチB1～BNにより分岐された入力光のうち、予備系スイッチモジュールSRに接続された光ファイバに分岐された光は、カブラ118に送られる。カブラ118は、N本の光ファイバからの光信号を合流して1本の光ファイバに入力するものであり、方向性結合器型、スターカブラ型のいずれでもよい。カブラには、光ファイバ型、バルク型、厚膜導波路型があるが、本発明のカブラ118はこれらのいずれでもよい。また、カブラには、集中結合型および分布結合型があるが、本発明のカブラ118はこれらのいずれでもよい。

【0048】ところで、この光クロスコネクタ装置10は、光ファイバが最大N個まで拡張できるように設計されているものであり、図1においては、拡張可能な最大数の光ファイバが収容されている場合を示す。光クロスコネクタ装置10に光ファイバが拡張可能な最大数まで設置されていない場合、例えば、K個(K<N)の光ファイバが収容されている場合は、収容されている光ファイバの数と同じ数のスイッチモジュールS、すなわちK個のスイッチモジュールSを光クロスコネクタ装置10に実装すればよい。

【0049】次に、光クロスコネクタ装置10の制御部18について説明する。光クロスコネクタ装置10の制御部18は、現用系スイッチモジュールS1～SNのうち、予備系スイッチモジュールSRに切り替える必要が生じたものに対応する1×2スイッチBに対して、入力光の送り先を予備系スイッチモジュールSRに切り替える指示を送る。修理または点検が終了した後は、その1×2スイッチBに対して、入力光の送り先を現用系スイッチモジュールSに戻す指示を送る。制御部18は、またスイッチモジュールS1～SN,SRに対してパスの設定の変更を指示する。

【0050】次に、スイッチモジュールS1～SN,SRの詳細について図2を用いて説明する。N+1個のスイッチモジュールS1～SN,SRは、同一の機能および構成を有するものであり、その入力端子に接続された1本の入側ファイバF1～FNから入力される入力光170に含まれるM個

の光信号を、制御部18の経路指定にしたがって、N個の出側ファイバF11～FN1のいずれかに振り分ける機能を有する。

【0051】1つのスイッチモジュールSは、図2に示すように、入側ファイバF1～FNが1本接続された入力端子22と、入力光170をM個の入力光128に分岐してM個のOR/OS部に分配するカブラ24と、M個のOR/OS部（光受信／光送信部）RS1～RSMと、入力側のポート数がM（光波長多重数）、出力側のポート数がN（光クロスコネクタ装置10に収容可能な光ファイバの最大数）である1個のM×Nスイッチ部20と、図1のカブラ16からの絶対基準光が入力される入力端子26と、絶対基準光の減衰を補償するために光増幅を行なう光アンプ（OAMP）28と、絶対基準光をM個の絶対基準光34に分岐してOR/OS部RS1～RSMに分配するカブラ24と、M個の出力端子32とからなる。光アンプ28およびカブラ24、30は、それぞれ、図1の光アンプ14およびカブラ16と同様な構成と機能を有する。

【0052】スイッチモジュールS1～SN,SRに入力された入力光170は、カブラ24によりM個の入力光128に分岐される。分岐された入力光128は、光信号毎に設けられたOR/OS部RS1～RSMにより一旦、電気信号に変換され、波形が再生された後、再び光信号に変換される。M個のOR/OS部RS1～RSMは、互いに異なるM個の波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、…、 $\lambda_M$ に対応して設けられ、OR/OS部RS1～RSMの各々は、1つの波長の光信号のみを処理する。OR/OS部RS1～RSMで処理された光信号は、M×Nスイッチ部20において各光信号毎に指定されている出側光ファイバF11～FN1に送信されるように、経路変更が行なわれる。

【0053】K個（ $K < N$ ）の光ファイバおよびスイッチモジュールSのみが光クロスコネクタ装置10に実装されているときは、M×Nスイッチ部20は、M×Kスイッチとして機能し、カブラC1～CKにはK個のM×Nスイッチ部20から光信号が送られてくる。そして、光ファイバを追加する際には、追加する光ファイバの組の数と同数の上記スイッチモジュールSおよびカブラCを追加するとともに、設置済のM×Nスイッチ部20の出力端子と追加されたカブラCの入力側との間、および追加されたM×Nスイッチ部20の出力端子と設置済のカブラCの入力側との間等において接続を行なえばよい。

【0054】従って、光クロスコネクタ装置10は、この装置10が収納する光ファイバ数を通信需要の増大等に応じて拡張する際に、光ファイバ数を容易に拡張できる構成を有する。

【0055】次に、光クロスコネクタ装置10のスイッチモジュールS内の個々のOR/OS部RSについて図3により説明する。図3に示すOR/OS部RSは、OR/OS部RSごとに決められた所定の受信周波数（＝送信周波数）の光のみを選択して受信し、その周波数の光のみを再生し送信す

る。OR/OS部は波形再生をしなくてもよく、そのような実施例については後述する。

【0056】図3のOR/OS部RSは、受信・送信の際に絶対基準光を周波数の基準として用いている。すなわち受信の際は、絶対基準光の周波数と所定の周波数差を有する光信号のみを受信し、送信の際は、絶対基準光の周波数と所定の周波数差を有する光信号を生成するようにレーザ光源を制御する。

【0057】なお、受信の際に絶対基準光を用いない方法も可能である。例えば、受信光の周波数のずれが少ない場合は、通過帯域が固定されているバンドパスフィルタにより特定の光信号のみを受信することができる。また、チューナブルフィルタを用いて特定の光信号を受信することとしてもよい。

【0058】OR/OS部RSは、入力された絶対基準光34を、受信に用いる絶対基準光36および送信に用いる絶対基準光38に分岐するカブラ40と、入力光128のうち所定の帯域の光のみを通過させ、かつ通過させる帯域が可変である波長可変フィルタ42と、フィルタ42が出力した特定波長の光44を、フィルタ42の通過帯域を制御するために用いるフィルタ制御光46および波形再生（波形整形）の対象となる光48に分岐するカブラ50と、フィルタ制御光46および絶対基準光36を合流するカブラ52と、合流された光54からフィルタ42の通過帯域を制御する制御信号78を生成するフィルタ制御部56とを有する。

【0059】波長可変フィルタ42に入力される入力光128のスペクトルを図4(A)に示す。入力光128は、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、…、 $\lambda_M$ の光信号を多重して含むものである。入力光に多重されている各光信号は、図4(A)に示すように中心波長の周囲にある程度の広がり（周波数）を有する。既述の波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、…、 $\lambda_M$ 、または周波数 $V_1$ 、 $V_2$ 、…、 $V_M$ は、各々、この広がり（周波数）の中心に位置する波長（中心波長）または周波数（中心周波数）である。

【0060】図4(B)、(C)、(D)は、それぞれ、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_M$ に対応したOR/OS部RS1、RS2、RSM内のフィルタ42の出力光44のスペクトルを示す。図示するスペクトルは、フィルタ制御部56によりフィルタ42の通過帯域の制御が適切に行なわれているときのものである。出力光44は、図示するように特定の1つの波長のみを有する光信号である。各OR/OS部は、フィルタ42を用いて、OR/OS部ごとに決められている特定の波長の光信号のみを選択できる。

【0061】波長可変フィルタ42は、例えば、干渉を利用したものや、モード変換現象を利用したものが可能である。干渉を利用したものとしてはマツハツェンダ型フィルタがある。これは、フィルタへの入力光を2つの光に分岐し、2つの光に異なる光路上を通過させた後に、2つの光を干渉させる。一方の光の光路上に電氣的に屈折率が可変な材料（電気光学材料）を配置することにより、屈折率を変化させて、すなわち、実効的な光路長を

変化させて、強く干渉する光の波長が変化することを利用している。フィルタ制御部56が出力する電圧によって電気光学材料に印加する電圧を変えることにより屈折率が変化し、その結果フィルタを通過する光の波長が変化する。モード変換現象を利用したものとしては、表面弾性波(SAW)による偏波モードの変換を利用したものがある。このフィルタにおいては、SAWの波長に応じた光波長において偏波モードの変換が起こる現象を利用している。電圧によりSAWの波長が変化し、容易にフィルタを通過する光の波長を変えることができる。

【0062】OR/OS部RSは、以上の構成に加えて、さらに、波形整形のために、光48を電気信号58に変えるフォトダイオード(PD)60と、電気信号58の波形を整形する、いわゆる再生中継機能(等化増幅機能、リタイミング機能、識別再生機能)を有する波形整形器62と、整形後の電気信号130によって出力光66が変調される波長可変レーザダイオード64と、レーザダイオード64の出力光66を、出力光66の周波数を制御するために用いられるレーザ制御光68およびOR/OS部RSの出力光70に分岐するカプラ72と、レーザ制御光68および絶対基準光38を合流するカプラ74と、合流された光80からレーザダイオード64の出力光66と絶対基準光38との周波数の差を求めて、レーザダイオード64を制御する制御信号82を生成する差分検出部76とを有する。カプラ40、50、52、72、74は、前述の図1のカプラ16、118と、分岐もしくは合流する光ファイバ数が異なる点を除けば、同様に構成することができる。

【0063】図5(A)に、絶対基準光34の周波数軸上の位置を、光信号(周波数 $V_1, V_2, \dots, V_M$ )の周波数軸上の位置と対比して示す。図5(B)には、M個のOR/OS部が出力するM個の再生された光信号70の周波数軸上の位置を、絶対基準光の周波数軸上の位置と対比して示す。これらは等間隔に配置されている。

【0064】波長可変レーザダイオード64としては、例えば、DBR(Distributed Bragg Reflector; 分布反射型)レーザがある。このレーザは、電流注入量を変化させることまたは素子の温度を変化させることにより発振波長を変化させた場合、波長変化幅が大きいことが知られている。

【0065】次に、フィルタ制御部56の一実施例について図6により詳細に説明する。以下の説明では、フィルタ制御部56は、波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M$ のうち、波長 $\lambda_2$ の光のみがフィルタ42を通過するようにフィルタ42を制御するものとする。フィルタ制御回路56は、合波された光54に含まれる、フィルタ42を通過する光44の強度のピークから光44の周波数に対応する量を求め、光44の周波数が $V_2$ を中心とする所定の周波数範囲内になるように、フィルタ42に制御信号78を出力する。

【0066】フィルタ制御部56は、合波された光54を入力されて絶対基準光および入力光128を時間軸上の光に

変換する掃引型ファブリペロ干渉計(SFPI)84と、SFPI84に印加される掃引用のこぎり波(鋸波)98を生成する関数発生器94と、関数発生器94がのこぎり波98を生成するために用いる正弦波等の同期信号102を出力する水晶発振器92と、SFPI84が出力する光104を電気信号に変換する光検出器86と、光検出器86の出力である電気信号106を時間について微分し、微分された信号108を出力する微分回路88と、微分信号108(入力光の強度がピークになる位置を示す)から絶対基準光とフィルタ42を通過する光44との周波数差に対応する量を求め、この量が所定の範囲内になるように、フィルタ42に制御信号78を出力するフィルタ制御回路90と、関数発生器94およびフィルタ制御回路90に同期信号102を出力する発振器92と、フィルタ制御回路90が出力するSFPI84のバイアス電圧100およびのこぎり波98を加算する加算回路110とを有する。

【0067】SFPI84は、ファブリーペロ干渉計の一種であり、ファブリーペロ干渉計を構成する2枚の高反射率平面鏡間の距離をピエゾ素子等の圧電素子(図示しない)により変えることができるものである。この距離が変化するとつれて、SFPI84を通過することができる光の波長が、図7(A)に示すように、変化することを本実施例では利用して、絶対基準光とフィルタ42を通過する光44との周波数差を求めている。図7(A)は、ピエゾ素子に印加される、のこぎり波96の電圧の時間変化と、SFPI84の出力光104の強度の時間変化を重ねて表示する。図7の横軸は時間である。

【0068】図7は、フィルタ制御部56の動作を説明するためのタイミング図であり、多重されている波長数 $M=4$ の場合を示す。図7(A)は、波長 $\lambda_0$ から $\lambda_4$ までの光をすべて含む多重化された光がSFPI84に入力されたとした場合に、SFPI84に印加されるのこぎり波96の電圧の時間的变化に応じて、SFPI84が出力する出力光104の強度が時間的にどのように変化するかを示す。のこぎり波96の電圧についてはバイアス電圧100を除いた部分のみを示す。

【0069】SFPI84を利用して、絶対基準光とフィルタ42を通過する光44との周波数差を求める方法について、さらに具体的に説明する。のこぎり波96の電圧を用いて、SFPI84の平面鏡間の距離を変化させた場合(距離を $L_1$ から $L_2$ に変化させたとする)に、 $L_1$ のときにSFPI84を通過できる光の周波数を $\omega_1$ 、 $L_2$ のときにSFPI84を通過できる光の周波数を $\omega_2$ とする。距離の変化量( $L_2-L_1$ )と、SFPI84を通過できる光の周波数差( $\omega_2-\omega_1$ )とは比例している。また、ピエゾ素子に印加する電圧の変化量とピエゾ素子の歪み量の変化量(平面鏡間の距離の変化量である)とは、ある範囲の電圧については比例関係にある。これらの比例関係における比例定数を予め求めておけば、SFPI84(ピエゾ素子)に印加する電圧を変えたとき、SFPI84を通過できる光の周波数が変わるが、それ

10

20

30

40

50

らの光の周波数の差は、電圧の変化量から求めることができる。

【0070】ところで、本実施例においては、絶対基準光とフィルタ42を通過する光信号との周波数差を求める際に電圧の変化量を直接求めずに、周波数差を時間差として求めている。のこぎり波においては、電圧差と時間差とは比例しているからである。

【0071】なお、SFPI84に入力される光54に含まれる光信号は、常に、波長 $\lambda$  1から $\lambda$  4までの4つの光のうち高々1つである。すなわち、フィルタ42の通過帯域が適切な値に安定的に制御されるまでの間は、SFPI84に入力される光54には、図7(A)に示す5つの光のうち、絶対基準光とフィルタ42の通過帯域内にある光信号（ある1つの時点に注目すると、波長 $\lambda$  1から $\lambda$  4までの4つの光のうち、高々1つ）とが含まれる。そのため、フィルタ42の通過帯域の制御を誤ることはない。高々1つである理由は、フィルタ42の通過帯域の中心周波数は制御が安定するまで変動するが、帯域の幅は時刻によらず、ほぼ一定であり、その幅は光信号の周波数の間隔よりも狭いからである。例えば、波長 $\lambda$  0から $\lambda$  4までの5つの光信号の隣り合う光信号の周波数間隔が10GHzで一定の場合、帯域幅は6GHz程度に設定されている。

【0072】また、のこぎり波96の電圧のうち、バイアス電圧100を除いた部分（電圧が変化する部分）の変化幅Hについては、電圧の変化幅Hに応じたSFPI84の2枚の平面鏡間の距離の変化幅、すなわち、SFPI84が掃引する光の周波数帯域の全体が、波長 $\lambda$  0から $\lambda$  4までの光をすべて含むように、変化幅Hが設定されている。なお、のこぎり波96の電圧からバイアス電圧100を除いた電圧は、のこぎり波98の電圧である。

【0073】なお、バイアス電圧100の決定方法に関しては、図7(D)に示す時刻Z0において、SFPI84を通過できる光が絶対基準光であるように、バイアス電圧100はフィルタ制御回路90において決定されて出力される。詳細は後述する。

【0074】次に図6に戻って、関数発生器94について説明する。関数発生器94は、発振器92が出力する同期信号102を受けて、SFPI84に印加される掃引用のこぎり波98を生成する。同期信号102は、のこぎり波98の開始を示す図7(C)のパルス114と、のこぎり波98の長さの基準となる図7(D)の正弦波116とからなる。関数発生器94は、のこぎり波96の1周期Tが、発振器92が出力する正弦波116の6周期分に相当するように、のこぎり波98を生成する。6周期としたのは、以下の理由による。

【0075】処理の便宜を考慮して本実施例では、正弦波116の1周期分の時間におけるのこぎり波98の電圧変化に対応した、SFPI84を通過できる光の周波数差が、多重されている光信号等の周波数差（ $=V1-V0=V2-V1=V3-V2=V4-V3$ ）に等しいとした。図7においては5つの光（波長 $\lambda$  0から $\lambda$  4）を含むため、周期Tは、最短

で6周期を必要とする。

【0076】発振器92の出力する正弦波116を基準にしてのこぎり波96の周期を設定するのは、のこぎり波96の電圧変化量とその変化に対応する時間経過との間に対応関係を設けることにより、時間経過から周波数差を知ることが可能となるからである。発振器92の出力する正弦波116は、フィルタ制御回路90にも送られ、フィルタ制御回路90は、時間経過を知ることにより電圧変化、すなわち周波数差を知ることができる。

10 【0077】水晶発振器92は、関数発生器94とフィルタ制御回路90とに同期信号102を出力する。光検出器86は、光を電気信号に変換するものであり、SFPI84が出力する光104を電気信号106に変換する。光検出器86は、具体的には例えば、フォトダイオード（PNフォトダイオード、アバランシェフォトダイオード等）、フォトトランジスタ、フォトコンダクタ等である。

【0078】微分回路88は、光検出器86の出力である電気信号106を時間について微分し、微分された信号108を出力する。微分信号108が正から負に変わる位置（ゼロクロス点）は、絶対基準光および光信号の強度がピークになる位置である。図3に示すフィルタ42の通過帯域が、波長 $\lambda$  2の光信号を通過帯域の中心とする範囲（図7(B)のW）である場合の微分回路88の出力108を図7(B)に示す。この場合、微分回路88の入力106には、波長 $\lambda$  0と $\lambda$  2に対応する2つのピークがあるため、微分回路88の出力108には、図7(B)に示すように2つのゼロクロス点P0、P2がある。

【0079】次に、フィルタ制御回路90について説明する。フィルタ制御回路90は、微分信号108と、発振器92からの同期信号102とから絶対基準光とフィルタ42を通過する光44との周波数差に対応する量（図7(B)に示す、光強度のピーク間の時間TD(=P2-P0))を求め、周波数差が、周波数V2の光信号と絶対基準光V0との周波数差に、所定の範囲内で一致するように、フィルタ42に制御信号78を出力する。

【0080】また、フィルタ制御回路90は、絶対基準光を基にしてSFPI84のピエゾ素子のバイアス電圧100を制御する。バイアス電圧を制御するのは、SFPI84の2枚の平面鏡間の距離が温度により変化するため、SFPI84へ印加されるのこぎり波96の電圧が変化しなくても、SFPI84を通過できる光の周波数が変化するためである。

【0081】次に、フィルタ制御回路90の動作について説明する。バイアス電圧100の決め方について、まず説明する。フィルタ制御回路90は、発振器92から図7(C)のパルス114を受け付けた後に、微分回路88から受け付けた出力108に含まれる最初のゼロクロス点(=P0)を絶対基準光の強度のピーク時刻と判断し、次に受け付けたゼロクロス点を光信号の強度のピーク時刻と判断する。そして、絶対基準光がピークとなる時刻（図7(D)のZ0P）と、発振器92から受け付けた正弦波116のゼロクロス点

(パルス114を受け付けた後の最初のゼロクロス点(図7(D)のZ0))の時刻との差を求める。時刻差が0になるように、バイアス電圧100を決定する。

【0082】次に、絶対基準光とフィルタ42を通過する光信号との周波数差を求める方法について説明する。前述のように、のこぎり波96が印加されているSFPI84においては、時間差が周波数差に比例しているため、絶対基準光と光信号との周波数差を知るためには、絶対基準光がピークとなる時刻と光信号がピークとなる時刻との時間差を求めればよい。

【0083】前記のようにバイアス電圧が正しく設定されているときは、絶対基準光がピークとなる時刻は、正弦波116の最初のゼロクロス点(Z0)であり、光信号がピークとなる時刻は、図7(D)のZ2P(=P2)であるため、時間差はZ2P-Z0となる。これが、所定の範囲内の値となるように、フィルタ42に印加する電圧を決定する。例えば、フィルタ42が電気光学材料からなる場合は、電圧を変えて屈折率を変えることにより、フィルタ42を通過できる光の周波数がV2になるようにする。

【0084】なお、伝送中に外乱等を受けて周波数がずれることがなければ、光クロスコネクタ装置10が受け付けた光信号の周波数はV2であり、バイアス電圧が適正であれば、周波数V2の光信号のピーク時刻は、本実施例においては時間軸上では図7(D)のZ2である。しかし、外乱等により周波数がずれている場合は、発振器92が出力する正弦波116のゼロクロス点(パルス114以後の3番目のゼロクロス点(Z2))と、ピーク時刻(Z2P)との間に、差(Z2P-Z2)が生じる。本実施例の説明においては一般的な場合、すなわち、ずれがあるとして(ピーク時刻との差(Z2P-Z2)があるとして)説明を行なった。

【0085】次に、図3の差分検出部76の一実施例について、詳細に説明する。以下の説明では、差分検出部76は、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、…、 $\lambda_M$ のうち、波長 $\lambda_2$ の光のみを図3のレーザダイオード64が発生するようにレーザダイオード64を制御するものとする。

【0086】差分検出部76は、合波された光80からレーザダイオード64が生成した光の波長を求め、その波長が $\lambda_2$ を中心とする所定の波長範囲内になるように、レーザダイオード64に制御信号82を出力する。制御信号82は、レーザダイオード64の発振波長の変更方式が注入電流の変更による場合は注入電流であり、レーザダイオード64の発振波長の変更方式が素子温度の変更による場合は、素子を加熱するための加熱手段に印加する電流(または電圧)である。

【0087】図8に示すように、差分検出部76は、合波された光80を入力されて絶対基準光およびレーザダイオード64の出力光66を時間軸上の光に変換する掃引型ファブリペロ干渉計(SFPI)84と、SFPI84に印加される掃引用のこぎり波98を生成する関数発生器94と、関数発生器94がのこぎり波98を生成するために用いる正弦波等の同

期信号102を出力する水晶発振器92と、SFPI84が出力する光104を電気信号に変換する光検出器86と、光検出器86の出力である電気信号106を時間について微分し、微分された信号108を出力する微分回路88と、微分信号108から絶対基準光とレーザダイオード64が出力する光66との周波数差に対応する量を求め、周波数差が所定の範囲内になるように、レーザダイオード64に制御信号78を出力する誤差検出回路120と、関数発生器94と誤差検出回路120に同期信号102を出力する発振器92と、誤差検出回路120が出力するSFPI84のバイアス電圧100およびのこぎり波98を加算する加算回路110とを有する。なお、以下の説明では、図6のフィルタ制御部56内の構成要素と同一の構成要素については同一の参照符号を付し、詳細な説明は省略する。

【0088】SFPI84においては、2枚の高反射率平面鏡間の距離が変化することによって、SFPI84を通過することができる光の波長が、図9(A)に示すように、変化することを本実施例では利用して、絶対基準光とレーザダイオード64が発生する光信号との周波数差を求めている。なお、周波数差を求める際に、絶対基準光とレーザダイオード64の出力光との周波数差を時間差として求めている。具体的な実現方法については後述する。

【0089】図9は、差分検出部76の動作を説明するためのタイミング図であり、図9(A)は、波長 $\lambda_0$ と、 $\lambda_2$ の光を含む多重化された光80がSFPI84に入力されたとした場合に、SFPI84に印加されるのこぎり波96の電圧の時間的な変化に応じて、SFPI84が出力する出力光112の強度が時間的にどのように変化するかを示す。のこぎり波96の電圧についてはバイアス電圧を除いた部分のみを示す。図9(A)では、SFPI84が出力する出力光104の強度と、のこぎり波96の電圧とを重ねて表示してある。図9の横軸は時間である。

【0090】のこぎり波96の電圧の変化幅Hについては、電圧の変化幅Hに応じたSFPI84の2枚の平面鏡間の距離の変化幅、すなわち、SFPI84を通過できる光の周波数帯域が、波長 $\lambda_0$ と $\lambda_2$ の光を含むように、変化幅Hが設定されている。なお、電圧の変化幅Hは、のこぎり波96の電圧からバイアス電圧100を除いた電圧であり、のこぎり波98の電圧である。バイアス電圧100に関しては、後述する図7(D)に示す時刻Z0においてSFPI84を通過できる光が絶対基準光になるように、バイアス電圧100はフィルタ制御回路において決定されて出力される。

【0091】微分回路88は、光検出器86の出力である電気信号106を時間について微分し、微分された信号108を出力する。図3に示すレーザダイオード64の出力光66の波長が $\lambda_2$ である場合の微分回路88の出力108を図7(B)に示す。この場合、微分回路88の入力106には、波長 $\lambda_0$ と $\lambda_2$ に対応する2つのピークがあるため、微分回路88の出力108には、図7(B)に示すように2つのゼロクロス点がある。

10

20

30

40

50

【0092】次に、誤差検出回路120について説明する。誤差検出回路120は、微分信号108と、発振器92からの同期信号102とから絶対基準光とレーザダイオード64の出力する光66との周波数差に対応する量(図7(B)に示す光強度のピーク間の時間TD)を求め、この周波数差が、周波数V2の光信号と周波数V0の絶対基準光との周波数差に、所定の範囲内で一致するように、レーザダイオード64に制御信号82を出力する。

【0093】また、誤差検出回路120は、絶対基準光を基にしてSFPI84のピエゾ素子のバイアス電圧100を決定する。バイアス電圧を制御するのは、SFPI84の温度変化およびバイアス電圧の変動によりSFPI84を通過できる光の周波数が変化し、正弦波116の2つのゼロクロス点間の時刻差が、レーザダイオード64の出力光と絶対基準光との周波数差に対応しなくなることを防止するためである。なお、フィルタ制御部56の場合と同様に、正弦波116の2つのゼロクロス点間の時刻差に対応するのこぎり波96の電圧差が、絶対基準光の周波数V0と周波数V2との差に対応するようにのこぎり波96の電圧は設定されている。

【0094】次に、誤差検出回路120の動作について説明する。バイアス電圧100の決め方について、まず説明する。誤差検出回路120は、発振器92から図9(C)のパルス114を受け付けた後に、微分回路88から受け付けた出力108に含まれる最初のゼロクロス点を絶対基準光の強度のピーク時刻と判断し、次に受け付けたゼロクロス点をレーザダイオード64の出力光66の強度のピーク時刻と判断する。そして、絶対基準光の強度がピークとなる時刻(図9(D)のZ0P)と、発振器92から受け付けた正弦波116のゼロクロス点(パルス114を受け付けた後の最初のゼロクロス点(Z0))の時刻との差を求める。この時刻差が0になるように、バイアス電圧100を決定する。

【0095】次に、絶対基準光とレーザダイオード64の出力光66との周波数差が所定の値になるように制御する方法について説明する。前述のように、のこぎり波96が印加されているSFPI84においては、SFPI84の出力光104の強度の2つのピーク間の時間差が、2つのピークにそれぞれ対応する2つの光の周波数差に比例している。したがって、絶対基準光と出力光66との周波数差を所定の値にするためには、絶対基準光の強度がピークとなる時刻と、レーザダイオード64の出力光66の強度がピークとなる時刻との時間差を所定の値にすればよい。

【0096】前記の処理によりバイアス電圧が正しく設定されているときは、絶対基準光がピークとなる時刻は図9(D)のZ0であり、出力光66がピークとなる時刻は、図9(D)のZ2Pであるため、時間差はZ2P-Z0となる。ところで、本実施例においては図6のフィルタ制御部56の説明で述べたように、正弦波116の1周期は、多重されている光信号の隣り合う光信号の周波数差に一致させている。したがって、レーザダイオード64の出力光66の周波

数の誤差は、出力光66のゼロクロス点(Z2P)と正弦波のゼロクロス点(Z2)との差である。誤差検出回路120は、Z2P-Z2が所定の値となるように、レーザダイオード64に注入する電流量を決定する。

【0097】次に、図2のスイッチモジュール内のM×Nスイッチ20の一実施例について、その詳細な構成を図10により説明する。M×Nスイッチ20は、M個の入力ポートを有し、それぞれはM個のOR/OS部RS1～RSMに接続されている。1つの入力ポートに入力された光信号は光ファイバ122上を伝送される。1本の光ファイバ122上には、N個の1×2スイッチが設けられている。1つの入力ポートに入力された光信号は、制御部18からの指示を受けた、光ファイバ122上のいずれか1つの1×2スイッチによって、その1×2スイッチに接続された出力ポート32に出力される。各出力ポート32には1つのカプラ126が接続されており、同一の行き先を有する複数の光信号を合流させる。

【0098】以上で光クロスコネクタ装置10の構成の説明を終る。次に、光クロスコネクタ装置10の動作について説明する。図1において、基準局から送られてきた絶対基準光は、光アンプ14で、伝送中の減衰を補償される。その後、カプラ16によりN+1個に分岐される。分岐された絶対基準光はスイッチモジュールS1～SN、SRに送られる。

【0099】一方、入力光は光ファイバF1～FNから入力される。いずれの光ファイバF1～FNに入力された入力光も同様に処理されるため、以下では、光ファイバF1に入力された入力光について説明する。異なる光波長( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , ...,  $\lambda_M$ )の光信号が多重されている入力光が、光ファイバF1から入力されると、1×2スイッチB1に、まず送られる。制御部18は、1×2スイッチB1を制御して、この入力光を通常は、現用系であるスイッチモジュールS1に送る。スイッチモジュールS1が故障または修理により使用できない場合は1×2スイッチB1を制御して、光クロスコネクタ装置10内に1つだけ設けられている予備系であるスイッチモジュールSRに入力光を送る。

【0100】これ以降の入力光の処理は、現用系スイッチモジュールS1、予備系スイッチモジュールSRのどちらにおいても同様であるため、現用系スイッチモジュールS1について説明する。現用系スイッチモジュールS1に入力された入力光は、図2に示すように、カプラ24によりM個の入力光128に分岐される。分岐後の入力光128はOR/OS部RS1～RSMに送られる。一方、スイッチモジュールに入力された絶対基準光168は、光アンプ28で増幅された後、カプラ30によりM個の絶対基準光34に分岐される。分岐後の絶対基準光34はM個のOR/OS部RS1～RSNに分配される。

【0101】次に、OR/OS部RS1～RSMの動作について説明する。各OR/OS部RS1～RSMは処理する光信号の波

10

20

30

40

50

長が異なる点を除けば、同様な処理を行なうため、OR/OS 部RSは $\lambda 2$ を処理するものとして、図3により説明する。

【0102】OR/OS 部RSに入力された絶対基準光34は、カブラ40により、入力光128 から波長 $\lambda 2$ を有する光のみを選択して受信するために用いられる絶対基準光36と、波長 $\lambda 2$ を有する光を発生するために用いられる絶対基準光38とに分岐される。

【0103】一方、入力光128 は、フィルタ42により波長 $\lambda 2$ を有する光のみが選択されて、フィルタ42を通過する。フィルタ42の通過帯域は、フィルタ制御部56により制御される。その制御のために、フィルタ42を通過した光44は、カブラ50により2つの光46、48に分岐される。光46は上述の制御に用いられる。光46は、カブラ52により絶対基準光36と合流される。合流後の光54からフィルタ制御部56は絶対基準光36と光44との周波数差を求める。そして、波長 $\lambda 2$ を有する光44のみがフィルタ42を通過するように制御信号78を生成し、生成した制御信号78をフィルタ42に出力する。

【0104】カブラ50により分岐された他方の光48は、フォトダイオード60によって電気信号58に変換される。波形整形器62は、電気信号58について、いわゆる再生中継を行なう。波形整形後の電気信号130によりレーザダイオード64の出力光を変調して、波長 $\lambda 2$ を有する光信号66を生成する。レーザダイオード64の出力光66の波長が $\lambda 2$ になるように差分検出部76が制御を行なう。その制御のために、レーザダイオード64の出力光66は、カブラ72により2つの光68、70に分岐される。光68は上述の制御に用いられる。光68は、カブラ74により絶対基準光38と合流される。合流後の光80から差分検出部76は絶対基準光38と出力光66の周波数の差分を検出する。そして、波長 $\lambda 2$ を有する光66のみをレーザダイオード64が出力するように制御信号82を生成し、生成した制御信号82をレーザダイオード64に出力する。

【0105】カブラ72により分岐された他方の光信号70は、図2のM×Nスイッチ20に送られる。図2に戻ると、M×Nスイッチ20において、光信号は行き先別に振り分けられて、N個ある出力ポートのいずれから出力される。出力された光はその出力ポートに接続された図1に示すカブラCに送られる。図1に示すように、1つのカブラCは1つの行き先に対応しており、N個のスイッチモジュールS1～SRからの光信号であって、かつ同じ行き先の光信号を合流する。合流後の光は光ファイバF11～FN1を通過して出力される。この時に現用系スイッチモジュールと予備系スイッチモジュールのいずれから出力された光信号であるかは問わずに、一律に合流される。

【0106】以上述べたように本実施例によれば、レーザダイオードで生成する発振光の波長を基地局からの絶対基準光に基づき制御しているため、光クロスコネク

装置の出力する光信号の周波数が安定している。

【0107】従来は、上流の光クロスコネク装置から下流の光クロスコネク装置に基準光が伝送されていたため、上流の光クロスコネク装置において、基準光の周波数に誤差などの異常が生じると、下流の光クロスコネク装置に異常が伝搬し、光通信網全体に異常が広がる。異常の結果として、主信号の雑音や主信号のデータエラーが増加する。

【0108】本実施例によれば、基準局に異常が生じない限り、ある光クロスコネク装置の光周波数の異常が光通信網内全体に広がることはない。その結果、光通信網内を伝送されるデータ等に誤りが発生する確率が減少し、網の信頼性が向上する。

【0109】基地局から絶対基準光を受信しない光クロスコネク装置としては、図11に示すようなものがある。本装置140は、基準光を、上流にある他の光クロスコネク装置から基準ファイバ142を通して受信する。これを光アンプ144で増幅した後、カブラ146で、2つの基準光152、154に分岐する。基準光152は、下流にある光クロスコネク装置に送信される基準光であり、光アンプ148で増幅された後、基準ファイバ150を通過して送信される。基準光154は、光クロスコネク装置140自身が用いる基準光である。この基準光154は、カブラ156で分岐された後、スイッチモジュールに分配される。

【0110】図11に示す光クロスコネク装置のように、光クロスコネク装置から光クロスコネク装置へ基準光が順次伝送されていくと、基準局から基準光を受信している場合と異なって、基準光に伝送中に発生する誤差が蓄積する。

【0111】なお、第1の実施例によれば、通信容量の拡張もしくは予備系通信回線の追加を行ないたい場合は、拡張もしくは追加する光ファイバの数と同数の1×2スイッチと、拡張用現用系スイッチモジュールもしくは予備系スイッチモジュールとを設ければよい。通信容量の拡張の場合はカブラも追加する。そして、スイッチモジュールの下流に設けたカブラに合流する光ファイバの合流数を拡張用現用系スイッチモジュールもしくは予備系スイッチモジュールの数だけ増やすことで、拡張用現用系または予備系の追加ができる。

【0112】このようにして予備系を設けた場合は、上記のような簡単な追加のみで、光信号が長時間、途絶することなく、モジュールの点検／交換、および障害復旧が行なえる。

【0113】次に、光クロスコネク装置の第2の実施例について説明する。第1の実施例においては、光信号の再生中継を行なうために、光信号を電気信号に変換しているが、第2の実施例においては、電気信号への変換は行なわない。また、光信号の波長を直接他の波長へ変換する。このように1つのパスを流れる光信号の波長を

途中で変換する理由は、これにより光通信網において必要な波長数が少なくて済むと、一般に考えられているからである。

【0114】第2の実施例と第1の実施例との違いは、OR/OS 部の構成にある。他の部分においては、第1の実施例と同一であるため、同一である部分についての説明は省略する。第2の実施例におけるOR/OS 部164 の構成を図12により説明する。図12において、第1の実施例のOR/OS 部RS (図3に示す) と同一の機能/構成を有するものについては同一の参照符号を付し、その説明は省略する。

【0115】図12のOR/OS 部164 において、入力光128 から特定の波長を有する光信号44を選択する部分は、第1の実施例と同一である。また、差分検出回路76も第1の実施例と同様である。第1の実施例における電気信号に変換する回路および変換後の電気信号の波形整形を行なう回路は有しない。選択された光48は、波長変換部160 に送られる。波長変換部160 は、和周波数光発生、差周波数光発生等の、半導体や誘電対の非線形効果を用いることにより光信号の周波数を変換するものである。例えば、和周波数光発生を用いる場合は、レーザダイオード158 の出力光166 (周波数を $\omega_0$ とする) と光信号48 (周波数は $\nu_2$ とする) とを合流し、合流後の光を非線形材料に入射すると、 $\nu_2' = \omega_0 + \nu_2$  の周波数を有する光信号162 を得ることができる。そして、差分検出部76 は、得られた光信号の周波数 $\nu_2'$  と絶対基準光80の周波数 $\nu_0$ との差が所定の範囲になるように、レーザダイオード158の出力光の周波数 $\omega_0$ を第1の実施例と同様に制御する。

【0116】第1の実施例においては、絶対基準光の周波数と光信号の周波数とは異なっていたが、本実施例のように波長変換を行なう場合は、光信号のいずれかの周波数と絶対基準光の周波数とが一致していてもよい。

【0117】以上の実施例においては、FDM を例にして説明したが、本発明はこれに限られるものではなく、WDM にも適用できる。また、基準光を用いる他の光通信方式にも適用できるものである。

【0118】また、以上の説明においては、予備系スイッチモジュールを有する場合について説明したが、本発明はこれに限られるものではなく、光クロスコネクタ装置を、予備系を有しない光クロスコネクタ装置として構成することも可能である。その場合は、図1においてスイッチモジュールの前段に設けられている、入力光を現用系と予備系に振り分ける $1 \times 2$ スイッチは不要である。

【0119】また、上記の実施例において、予備系スイッチモジュールは1つ設けられているが、本発明はこれに限られるものではなく、予備系スイッチモジュールを複数設けることとしてもよい。そのときは、図1においてスイッチモジュールの前段に設けられている、入力光

を現用系と予備系に振り分ける $1 \times 2$ スイッチは、予備系スイッチモジュールの数(K)に応じて、 $1 \times (K + 1)$  スwitchとすればよい。

【0120】また、本実施例のOR/OS 部においては、可変波長フィルタを用いて特定の波長の光信号を選択しているが、特定の波長の選択方法としては、これに限られるものではない。例えば、波長が固定されたフィルタを用いることも可能であり、この例としては、特定の波長の光を透過し、他の波長の光を反射する多重反射型光分波回路、回折格子を用いた分波回路等がある。また、導波路周期フィルタ、リング共振器、光増幅器等を用いることも可能である。さらに、光ヘテロダイン検波やホモダイン検波を用いることもできる。

【0121】

【発明の効果】このように本発明によれば、一部の光クロスコネクタ装置において生じた基準光の異常等が光通信網内の他の光クロスコネクタ装置に伝搬することのない光クロスコネクタ装置を提供することができる。

【0122】また、光クロスコネクタ装置に異常が生じたとき、または光クロスコネクタ装置を点検するときに、通信が長時間途絶することのない光クロスコネクタ装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る、予備系スイッチモジュールを有する光クロスコネクタ装置の一実施例のブロック図である。

【図2】図1の光クロスコネクタ装置において用いられるスイッチモジュールの一実施例のブロック図である。

【図3】図1の光クロスコネクタ装置が波形整形を行なう場合のOR/OS 部の一実施例のブロック図である。

【図4】図1の光クロスコネクタ装置内の可変波長フィルタの入力光および出力光のスペクトルを示す図である。

【図5】図1の実施例における絶対基準光の中心周波数と再生された光信号の中心周波数との関係を示す図である。

【図6】図1の実施例におけるフィルタ制御部の一実施例のブロック図である。

【図7】図6のフィルタ制御部を構成する各部の動作タイミング図である。

【図8】図1の実施例における差分検出部の一実施例のブロック図である。

【図9】図8の差分検出部76を構成する各部の動作タイミング図である。

【図10】図1の実施例における $M \times N$ スイッチの一実施例のブロック図である。

【図11】基準局から基準光を受信しない方式の光クロスコネクタ装置のブロック図である。

【図12】図1の光クロスコネクタ装置が直接、光波長変換を行なう場合のOR/OS 部の一実施例のブロック図で

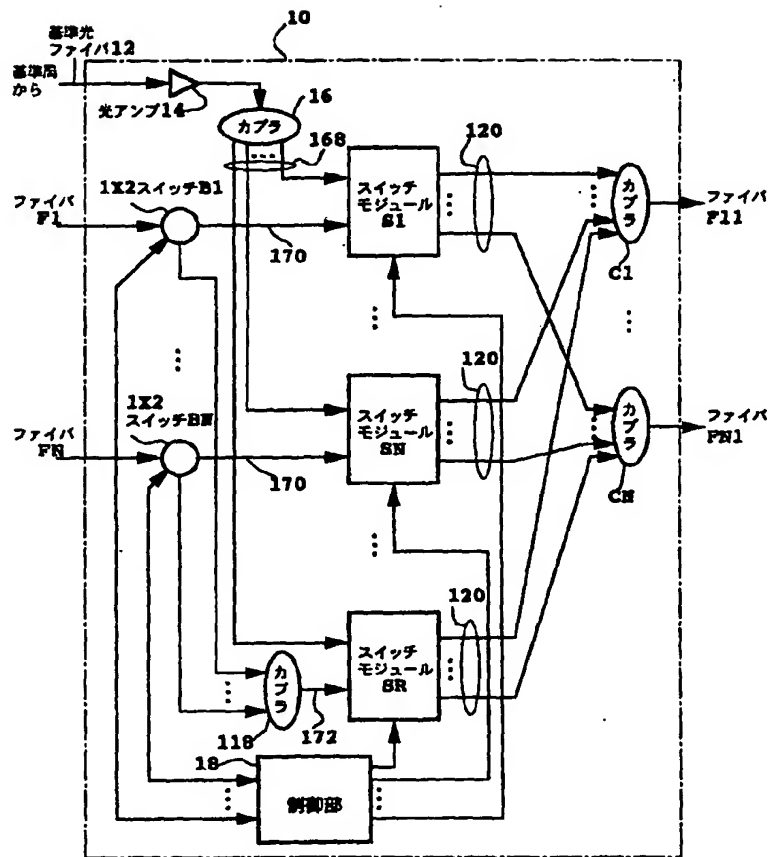
ある。

【符号の説明】

10 光クロスコネクタ装置  
12 基準光ファイバ  
62 波形整形器  
76 差分検出部

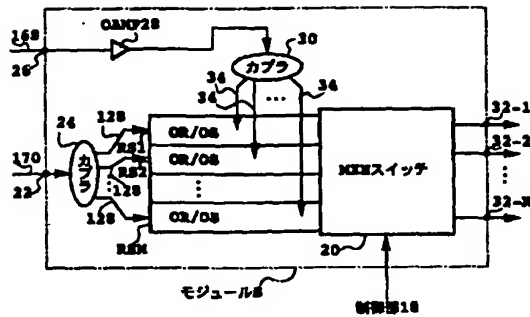
160 波長変換部  
B1~BN 1×2スイッチ  
C1~CN カプラ  
RS1 ~RSM OR/OS 部  
S1~SN, SR スイッチモジュール

【図1】



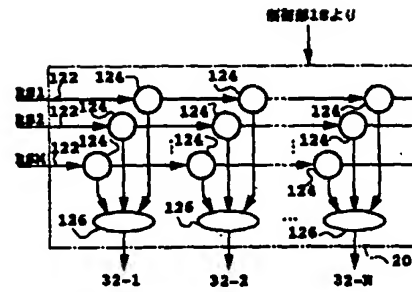
予信系を備えた光クロスコネクタ装置

【図2】



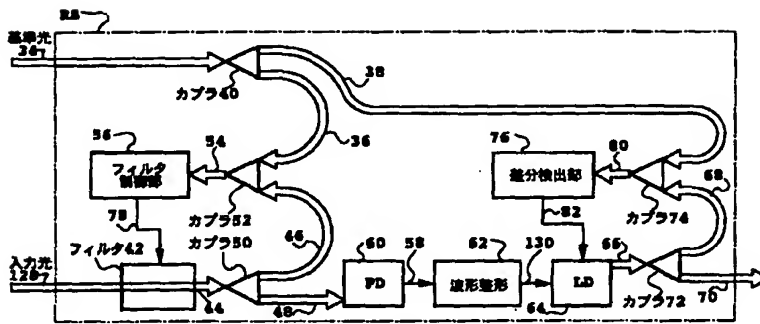
スイッチモジュールの一実施例

【図10】



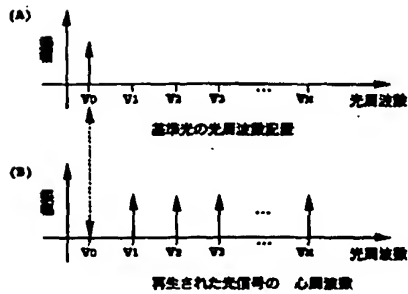
MUXスイッチの一実施例

【図3】



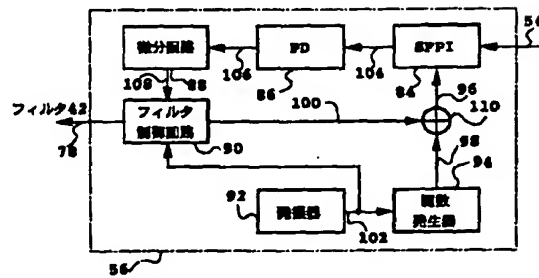
波形成形を行うOR/OR部の実施例

【図5】



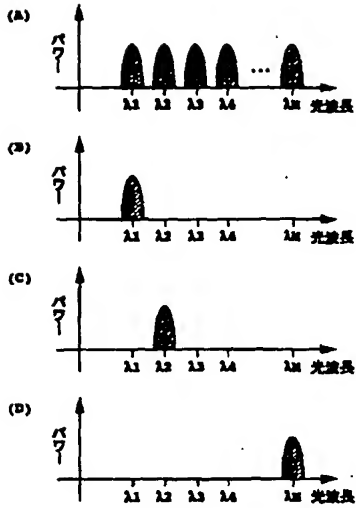
絶対基準光と再生された光信号の中心周波数との関係

【図6】



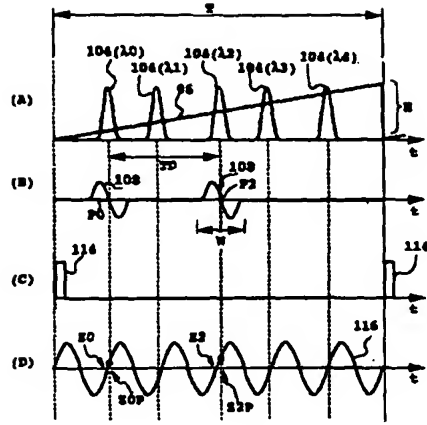
フィルタ制御部の一実施例

【図4】



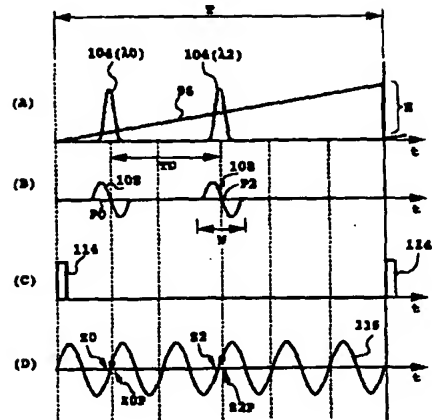
フィルタの入出力光のスペクトル

【図7】



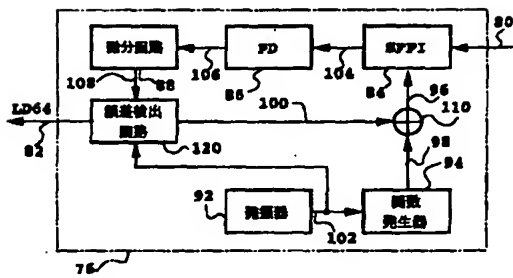
フィルタ制御部の動作タイミング図

【図9】



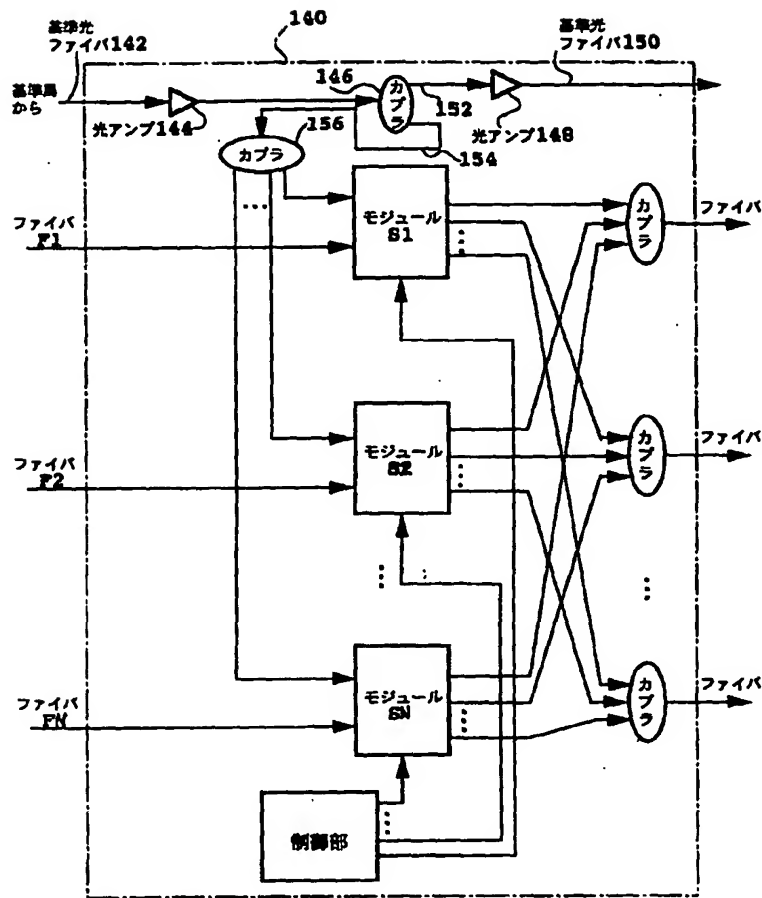
差分検出部の動作タイミング図

【図8】



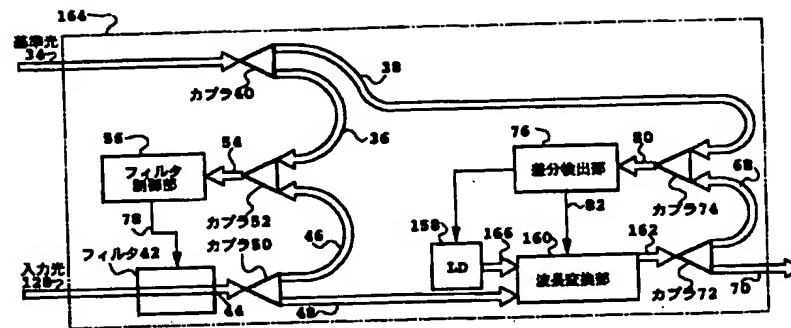
絶対基準光と出力光との周波数の差分を検出する差分検出部

【図11】



基準局から基準光を受光しない光クロスコネクト装置

【図12】



波形変換を行うOSA/OSB部の実施例